

## مسئله طراحی شبکه معابر با در نظرگیری شاخص‌های مبتنی بر مرکزیت

محمد نیری، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران، ایران  
عباس بابازاده (مسئول مکاتبات)، دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران، ایران

**E-mail: ababazadeh@ut.ac.ir**

مهرداد غلامی شه‌بندی، دکتری مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران، ایران

### چکیده

توسعه شبکه معابر شهری یکی از گزینه‌های متداول برای غلبه بر رشد و افزایش تقاضای حمل‌ونقل در شبکه‌های شلوغ شهری است. مسئله انتخاب بهترین ترکیب پروژه‌ها با توجه به محدودیت بودجه مسئله طراحی شبکه می‌گویند. در حل کلاسیک این مسئله عموماً به شاخص زمان سفر به‌عنوان تابع هدف توجه شده است، درحالی‌که شاخص‌های دیگری از جمله شاخص‌های توپولوژیک نیز در کیفیت خدمت‌رسانی شبکه مؤثرند. در این مقاله به بررسی تأثیر شاخص توپولوژیک مرکزیت در کنار شاخص زمان سفر بر طراحی شبکه پرداخته می‌شود و مسئله طراحی شبکه با در نظرگیری شاخص‌های مرکزیت میانی و مرکزیت نزدیکی در سطوح بودجه مختلف برای شبکه آزمایشی سوفالز حل می‌شود. همچنین، در این مقاله شاخص مرکزیت میانی در شرایط تعادل استفاده‌کننده ارزیابی می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که مینیمم سازی شاخص زمان سفر لزوماً موجب بهبود شاخص مرکزیت نمی‌شود. لذا در نظرگیری شاخص مرکزیت در جواب مسئله طراحی شبکه مؤثر است.

واژه‌های کلیدی: طراحی شبکه، زمان سفر تعادلی، شاخص زمان سفر، شاخص‌های توپولوژیک

## ۱. مقدمه

بر عملکرد سیستم حمل‌ونقل، شیوه زندگی اجتماعی در شهر، کارایی شبکه و درک مسافران از کیفیت سفر خود دارد. علاوه بر شاخص‌های کلاسیک زمان سفر و حجم وسایل شاخص‌های مختلفی دیگری جهت ارزیابی شبکه معابر وجود دارند که از جمله این شاخص‌ها می‌توان به دو گروه الف) شاخص‌های هندسی<sup>۲</sup> و ب) شاخص‌های توپولوژی<sup>۳</sup> قرار اشاره کرد. خصوصیات هندسی شبکه در حالت کلی در دو سطح میکرو و ماکرو تعریف می‌شوند. خصوصیات از جمله عرض معبر و زاویه تقاطع در دسته میکرو و خصوصیات از جمله چگالی تقاطع‌ها و جمع طول خیابان‌های شبکه یا یک ناحیه ترافیکی در دسته ماکرو قرار می‌گیرند. شاخص‌های توپولوژی صرفاً به خصوصیات ماکرو از جمله اتصال نقاط، خوشه‌بندی و مرکزیت نقاط شبکه می‌پردازند. هدف این مقاله ارائه الگوریتمی برای ارزیابی پروژه‌های ساخت یا تعریض معابر شهری بر اساس شاخص توپولوژیک مرکزیت نزدیکی<sup>۴</sup> و میانی<sup>۵</sup> است. در نظرگیری شاخص مرکزیت شبکه در طراحی در کنار در نظرگیری شاخص‌های مرسوم همچون زمان سفر و حجم وسایل نقلیه می‌تواند به دست آوردن جریانی کارا و مؤثر در شبکه کمک کند.

## ۳. روش پژوهش

در این مقاله از شاخص توپولوژی مرکزیت جهت بررسی و تحلیل پروژه‌های ساخت معابر شهری با توجه به محدودیت بودجه استفاده می‌شود و تأثیر پروژه‌های ساخت یا تعریض معابر با توجه به این شاخص به همراه شاخص زمان سفر مورد بررسی قرار می‌گیرند. در ادامه شاخص مرکزیت و الگوریتم انتخاب ترکیب پروژه‌ها توضیح داده خواهد شد.

### ۱-۳ مرکزیت

ابتدا باولاس در سال ۱۹۵۰ به بحث مرکزیت در شبکه پرداخت طبق دیدگاه او یک گره هنگامی در مرکز قرار دارد که در کوتاه‌ترین مسیر بین جفت گره‌های دیگر قرار داشته باشد. در سال ۱۹۵۸ کوهن و ماریوت مراکز را پیوندهایی معرفی کردند فصلنامه مهندسی ترافیک/ سال بیست و سوم/ شماره ۹۵ / زمستان ۱۴۰۲

طراحی و تحلیل شبکه‌های حمل‌ونقلی یکی از چالش‌ها و مسائل کلان تصمیم‌گیران و مدیران شهری در حوزه حمل‌ونقل است. در صورتی که تصمیمی اشتباه گرفته شود ممکن است هزینه‌های زیاد و حتی جبران‌ناپذیری به سیستم حمل‌ونقل تحمیل شود، زیرا شبکه‌ای که به صورت مناسب طراحی نشده باشد می‌تواند هزینه‌های مستقیم (هزینه‌های وارد بر مصرف‌کننده مثل شلوغی، هزینه ریالی زیاد، عدم ایمنی، عدم راحتی سفر و عدم پیوستگی شبکه) و هزینه‌های غیرمستقیم (هزینه‌های وارد بر غیر مصرف‌کننده مثل آلودگی، سروصدا، زشتی و تغییر غیرعادی ارزش زمین) شبکه را افزایش دهد. در مطالعات حمل‌ونقل، برای ارزیابی گزینه‌های ساخت شبکه معابر میزان کاهش هزینه‌های (مستقیم و غیرمستقیم) ناشی از هر گزینه نسبت به گزینه وضع موجود بررسی می‌شود. در این روش معمولاً به هزینه‌های مستقیم وزن بیشتری داده می‌شود و در بین آن‌ها تمرکز اصلی بر هزینه شلوغی و هزینه ریالی سفر است، درحالی‌که به شاخص‌های مهم دیگری از جمله مرکزیت<sup>۱</sup> شبکه توجه کمتری شده است. همچنین در سال‌های اخیر به علت محدودیت بودجه گزینه‌های ساخت معابر شهری کاهش یافته است و باید انتخاب گزینه‌های ساخت را با توجه به نیازهای موجود و شاخص‌های کارا تر انتخاب نمود.

## ۲. تعریف مسئله و اهداف پژوهش

تصمیم‌گیران و طراحان شبکه در بررسی و طراحی ساختار شبکه و معابر شهری عموماً به شاخص‌هایی مانند زمان سفر و حجم وسایل نقلیه شخصی و عمومی توجه نموده‌اند و شاخص‌های هندسی و توپولوژی را که می‌تواند در کارایی شبکه تأثیر بسزایی داشته باشد و موجب طراحی و توسعه پایدار شود را در نظر نگرفته‌اند که همین امر می‌تواند موجب بروز مشکلاتی در سال‌های بعد از طراحی شود. این شاخص‌ها تأثیرات مستقیمی

## مسئله طراحی شبکه معابر با در نظرگیری شاخص‌های مبتنی بر مرکزیت

شاخص بیشتر باشد مرکزیت شبکه در وضعیت بهتری است و از پراکندگی شبکه جلوگیری به عمل آمده است.

مرکزیت نزدیکی نشان‌دهنده تأثیر مسافت سفرهای عبوری از گره موردنظر است. این شاخص را می‌توان برای هر مبدأ سفر و کل شبکه به صورت جداگانه قابل محاسبه است. مقدار مرکزیت نزدیکی با افزایش مسافت سفرهای شروع شده از مبدأ سفر کاهش می‌یابد. رابطه (۳) نحوه محاسبه این شاخص را نشان می‌دهد.

$$C_r^C = \frac{(N-1)}{\sum_{s \in I, r \neq s} d_{rs}} \quad (3)$$

مقدار کم برای این شاخص نشان‌دهنده مسیرهای طولانی از مبدأ  $r$  و مقدار زیاد این شاخص بیانگر مسیرهای کوتاه با آن مبدأ است. به صورت کلی هرچه مقدار این شاخص بیشتر باشد مطلوبیت شبکه بالاتر است و سفرها در فواصل کوتاه انجام می‌شوند. مقدار این شاخص برای کل شبکه از رابطه (۴) به دست می‌آید که به صورت زیر است.

$$C^C = \frac{\sum_{i=1}^N (C_r^{C*} - C_r^C)}{(N^2 - 3N + 2)/(2N - 3)} \quad (4)$$

که در این رابطه  $C_r^{C*}$  بیشترین مقدار این شاخص در ناحیه موردبررسی است. کمترین مقدار  $C^C$  برابر صفر است که بیانگر این حالت است که مجموع طول مسیرهای شروع شده از مبدأهای مختلف با یکدیگر یکسان است. هرچه مقدار این شاخص بیشتر باشد، بیانگر این است که طول مسیرهای شبکه از پراکندگی بالاتری مابین مبادی مختلف برخوردار هستند. همچنین هرچه این شاخص برای هر گره بیشتر باشد، نشان‌دهنده این است که طول سفرهای شروع شده از مبدأ دارای مقدار کمتری است و مرکزیت آن گره از نظر طول مسافت سفرهای ایجاد شده در حالت بهتری است.

### ۲-۳ مدل ریاضی

مسئله طراحی شبکه عموماً به صورت یک مدل دوسطحی تعریف می‌شود که در سطح پایین آن مسئله تخصیص ترافیک (مسئله تعیین جریان در مسیرها و کمان‌های شبکه برای هریک از

که کمان‌های شبکه را به هم متصل و درهم‌تنیده می‌کند و به نظر می‌رسد بین دیگر گره‌ها ایستاده‌اند. مرکزیت شبکه را به طور کلی می‌توان به دو دسته مرکزیت میانی و مرکزیت نزدیکی تقسیم نمود که در ادامه این بخش به صورت جامع این دو مرکزیت توضیح داده می‌شود.

مرکزیت میانی در واقع وضعیت گذر مسیرها از گره‌های شبکه را بررسی می‌کند و برای هر گره به صورت جداگانه و کل شبکه قابل محاسبه است. در واقع این شاخص نشان می‌دهد که هر گره تا چه اندازه در مسیرهای عبوری نقش دارد و با افزایش تعداد مسیرهای عبوری افزایش می‌یابد. مقدار این شاخص برای هر گره از رابطه شماره (۱) به دست می‌آید.

$$C_i^B = \frac{1}{(N-1)(N-2)} \sum_{r, s \in I} \frac{n_{rs}(i)}{n_{rs}} \quad (1)$$

که در این رابطه  $N$  عبارت است تعداد گره‌های موجود در شبکه، گراف متناظر با شبکه،  $n_{rs}$  تعداد کوتاه‌ترین مسیرها بین گره‌های  $r$  و  $s$  و  $n_{rs}(i)$  تعداد کوتاه‌ترین مسیر بین گره‌های  $r$  و  $s$  شامل ره  $i$  نیز است. این مقاله این شاخص برای شرایط تعادل استفاده‌کننده<sup>۱</sup> نیز بررسی شده است که در این حالت ممکن است بین هر زوج مبدأ-مقصد بیش از یک کوتاه‌ترین مسیر وجود داشته باشد. در واقع این شاخص به نوعی تعدد مسیرهای عبوری از گره موردنظر را نشان می‌دهد. برای کل شبکه مقدار مرکزیت میانی از رابطه (۲) به دست می‌آید که به صورت زیر است.

$$C^B = \frac{\sum_{i=1}^N (C_i^{B*} - C_i^B)}{(N^3 - 4N^2 + 5N - 2)} \quad (2)$$

که در این رابطه  $C_i^{B*}$  بیشترین مقدار مرکزیت میانی گره‌های موجود در شبکه است. کمترین مقدار ممکن  $C^B$  برابر صفر است و نشان‌دهنده حالتی است که مسیرهای شبکه به صورت کاملاً متعادل پراکنده شده باشند و هیچ گره‌ای تعدد مسیر عبوری بیشتری ندارد. هرچه مقدار این شاخص بیشتر باشد بیانگر این حالت است که گره یا گره‌هایی در شبکه وجود دارند که دارای تعدد مسیرهای عبوری از آن‌ها هستند. بنابراین هرچه مقدار این

گرفته‌شده، می‌تواند یک تخصیص همه‌یاهیچ یا مدل تعادلی بکمن باشد.

### ۳-۳ الگوریتم پیشنهادی

در این مقاله فرآیند ارزیابی پروژه‌های ساخت یا تعریض معابر جهت تعیین بهترین ترکیب پروژه با توجه به محدودیت بودجه به شرح گام‌های زیر است.

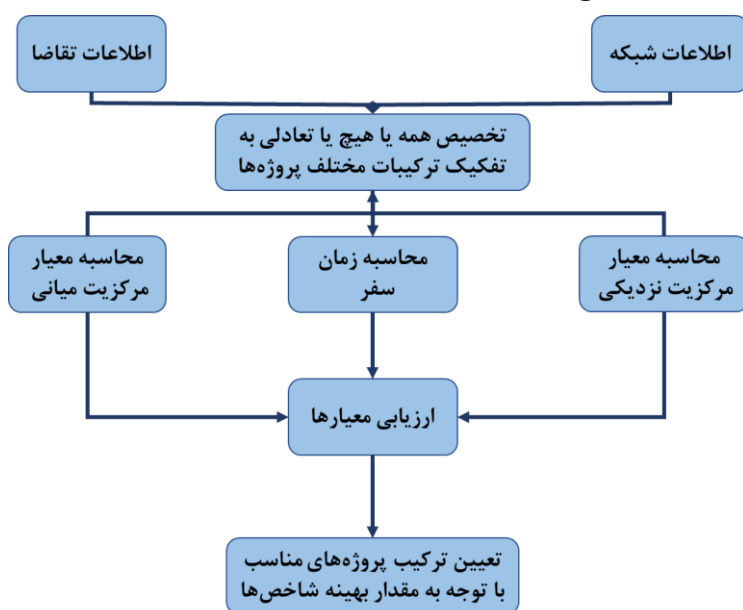
گام ۱: اطلاعات مربوط به شبکه که شامل اطلاعات کمان‌ها، گره‌ها شبکه است و اطلاعات تقاضا جمع‌آوری می‌شود.  
گام ۲: برای هر یک از ترکیب پروژه‌های ممکن: یک تخصیص همه‌یاهیچ و تخصیص تعادلی انجام می‌شود و جریان‌های کمائی حاصل و کوتاه‌ترین مسیرهای بین زوج مبدا-مقصدها ذخیره می‌شود.

گام ۳: شاخص مرکزیت میانی، مرکزیت نزدیکی و زمان سفر برای تمام ترکیبات مختلف پروژه‌ها محاسبه می‌شود.

گام ۴: شاخص‌های مرکزیت میانی، مرکزیت نزدیکی و زمان سفر به‌دست‌آمده در گام ۳ را مرتب کنید.

گام ۵: ترکیب بهینه را با توجه به سطح بودجه تعیین کنید.

شکل (۱) فلوجارت الگوریتم ذکرشده را نشان می‌دهد.



شکل ۱. فلوجارت الگوریتم پیشنهادی

وضعیت‌های فرض شده) و سطح بالای آن یک مسئله بهینه‌سازی بر اساس انتخاب زیرمجموعه‌ای از پروژه‌های موجود است. در این مقاله نیز برای حل مسئله طراحی شبکه از ساختاری دوسطحی استفاده می‌شود. ا مدل سطح بالا (ULP) به‌صورت تعریف می‌شود:

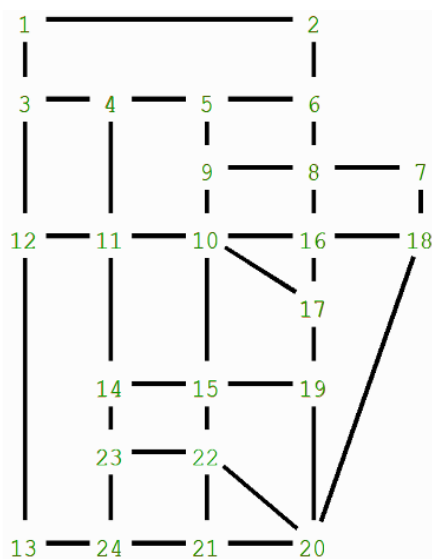
$$\text{ULP} \begin{cases} \min z(x) \text{ or } \max z(x) \\ \text{s.t.} \\ \sum_{a \in A} c_a y_a \leq B \\ y_a \in \{0,1\} \quad \forall a \in \bar{A}(y) \\ x \text{ solves LLP}(y) \end{cases} \quad (5)$$

هدف این مدل یافتن متغیر تصمیم  $y = (y_a)$  برای مینیمم یا ماکسیمم کردن تابع هدف  $z(x)$  است که می‌تواند هر یک از شاخص‌های مرکزیت میانی، مرکزیت نزدیکی و یا زمان سفر شبکه باشد.  $\bar{A}(y)$  مجموعه کمان‌های کاندید برای احداث یا ارتقاء (مثل تعریض) است که برحسب متغیر تصمیم  $y$  تعریف می‌شود.  $B$  سطح بودجه و  $c_a$  هزینه ساخت یا ارتقاء کمان  $a \in \bar{A}(y)$  است. مدل سطح پایین  $\text{LLP}(y)$  یک مدل تخصیص ترافیک برای یافتن جریان‌های کمائی  $x = (x_a)$  روی شبکه حاصل از احداث یا ارتقاء کمان‌های  $\bar{A}(y)$  است. این مسئله تخصیص ترافیک، بسته با تابع هدف در نظر

#### ۴. تحلیل داده‌ها (مطالعه موردی: شبکه سوفالز)

الگوریتم پیشنهادشده در بخش ۳-۲ بر روی شبکه سوفالز با در نظرگیری ۲۰ پروژه ساخت یا تعریض شبکه پیاده‌سازی شد. این شبکه یکی از پرکاربردترین شبکه‌های آزمایشی مورد استفاده در مطالعات حمل‌ونقل است که دارای ۲۴ گره، ۷۶ کمان و ۵۵۲ زوج مبدأ مقصد است. برای اطلاعات این شبکه و تقاضای آن از مرجع [۱۱] استفاده شده است. تابع زمان سفر مورد استفاده برای این شبکه به صورت  $A + Bx_a^4$  است که  $x_a$  نشان‌دهنده جریان در کمان مورد نظر  $a$  است و  $A$  زمان سفر آزاد را نشان می‌دهد که به صورت  $t_a^0$  است. همچنین  $B = \frac{0.15 t_a^0}{Q_a^4}$  که با

استفاده از زمان سفر آزاد و ظرفیت کمان  $Q$  به دست می‌آید. برای به دست آوردن ظرفیت کمان‌ها از مرجع [۱۲] استفاده شد. در این شبکه خیابان‌ها به دودسته اتصال‌دهنده و اصلی تقسیم شده‌اند که این تقسیم‌بندی بر اساس سرعت عملکردی بیشتر و یا کمتر از ۵۰ کیلومتر بر ساعت بوده است. همچنین برای انجام تحلیل حساسیت نسبت به سطح بودجه با توجه به بودجه کل برای انجام تمامی پروژه‌ها، بودجه در ۲۰ سطح تقسیم‌بندی شد و در هر سطح بودجه مقدار بهینه شاخص مورد نظر که می‌تواند مرکزیت و یا زمان سفر باشد به دست آمد. با توجه تعداد حالت‌های ممکن برای ترکیب‌های پروژه (۲<sup>۲۰</sup> ترکیب) الگوریتم پیشنهادی تخصیص در محیط برنامه‌نویسی C نوشته و الگوریتم یافتن بهترین پروژه در محیط نرم‌افزار MATLAB برنامه‌نویسی و اجرا شد.



شکل ۲. شبکه سوفالز

#### ۴-۱ ارزیابی مسئله بر اساس شاخص مرکزیت و

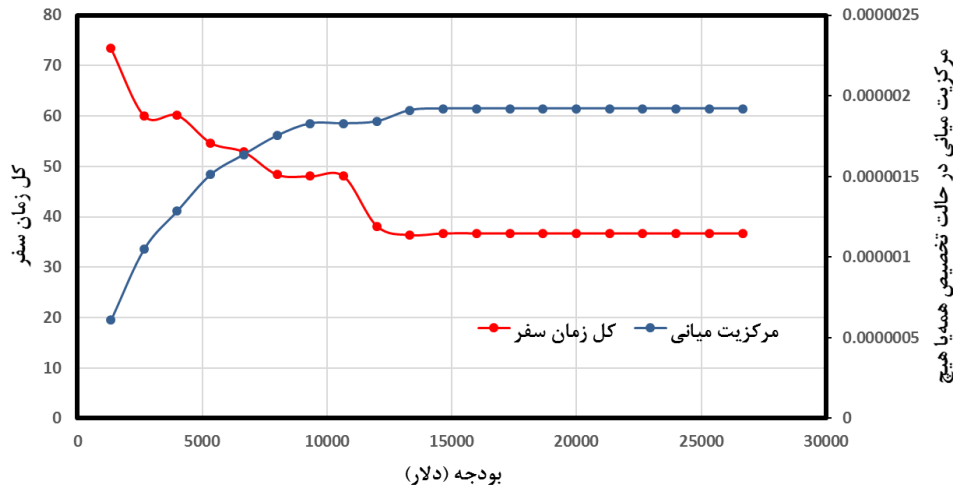
##### زمان سفر

الگوریتم پیشنهادی در بخش ۳-۲ بر روی شبکه سوفالز برای ارزیابی شاخص‌های مرکزیت میانی و مرکزیت نزدیکی و همچنین زمان سفر پیاده‌سازی شد نکته‌ای که در این بخش لازم به ذکر است این است که شاخص مرکزیت میانی معرفی شده در مرجع [۹] در حالتی فرض شده است که تنها یک کوتاه‌ترین

مسیر بین مبدأ و مقصد وجود داشته باشد اما می‌دانیم در حالت تعادل استفاده‌کننده ممکن است بیش از یک کوتاه‌ترین مسیر بین مبدأ و مقصد وجود داشته باشد لذا در حل این مسئله این شاخص هم برای حالت تعادل استفاده‌کننده و هم حالت تخصیص همه‌یاهیچ محاسبه و به دست آمد همچنین زمان سفر کل شبکه نیز در حالت تعادلی به دست آمده است.

این ارزیابی برای سه شاخص مرکزیت میانی (در ۲ حالت تعادلی و همه‌یاهیچ)، مرکزیت نزدیکی و زمان سفر در شکل (۳) تا (۶) به ترتیب آورده شده است.

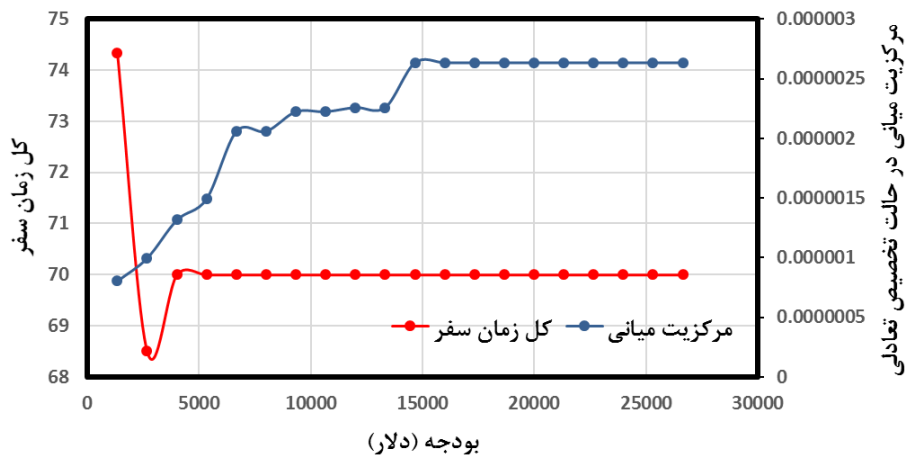
هر چه مقدار مرکزیت شبکه بیشتر و مقدار زمان سفر شبکه کمتر باشد شبکه در وضعیت بهتری قرار داد؛ بنابراین ترکیب بهینه برای هر یک از شاخص‌ها در هر سطح بودجه به دست آمد نتایج



شکل ۳. تغییرات ماکسیمم مرکزیت میانی با افزایش سطح بودجه و زمان سفر متناظر با آن در حالت تخصیص همه‌یاهیچ

مشهود است و پس از آن ثابت باقی می‌ماند. زمان سفر متناظر با اجرای پروژه مربوطه نیز در جهت بهبود (کاهش زمان سفر) است.

همان‌طور که در شکل (۳) مشخص است مقدار مرکزیت میانی شبکه در حالت تخصیص همه‌یاهیچ با افزایش سطح بودجه بهبود چشم‌گیری پیدا می‌کند که این بهبود تا سطح بودجه ۵۰ درصد

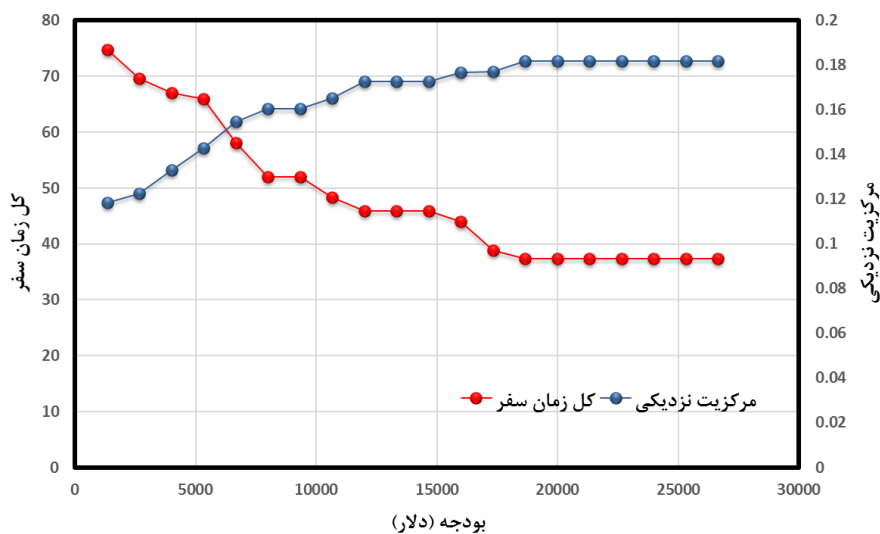


شکل ۴. تغییرات ماکسیمم مرکزیت میانی با افزایش سطح بودجه و زمان سفر متناظر با آن در حالت تخصیص تعادلی

از یک کوتاه‌ترین مسیر بین مبدأ و مقصد وجود داشته باشد حل شد که نتایج در شکل (۴) قابل مشاهده است مقدار این شاخص تا سطح بودجه ۵۵ درصد بهبود پیدا کرده البته زمان سفر تعادلی شبکه بهبود زیادی پیدا نمی‌کند و تنها ۵/۸ درصد بهبود می‌یابد.

همان‌طور که توضیح داده شد در ادبیات موضوع مقدار مرکزیت میانی در حالت تخصیص همه‌یاهیچ و حالتی بیان شده است که تنها یک کوتاه‌ترین مسیر بین مبدأ و مقصد وجود داشته باشد اما در این مقاله برای حالت تخصیص تعادلی که ممکن است بیش

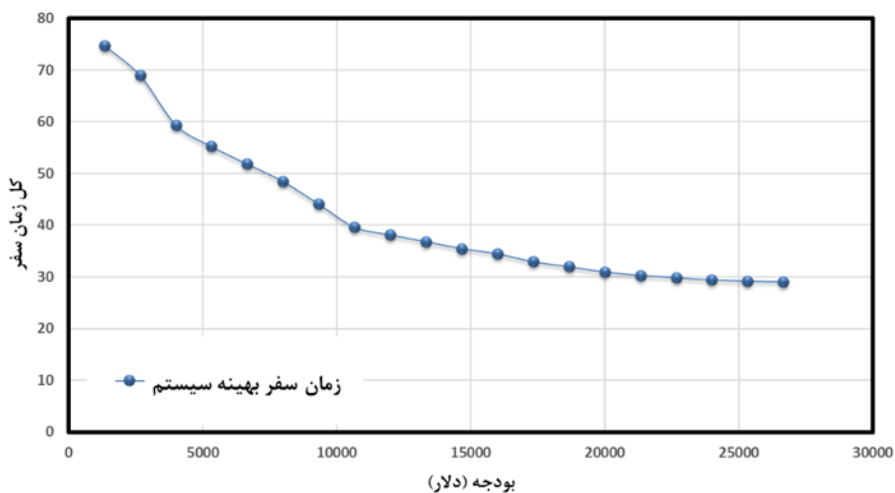
## مسئله طراحی شبکه معابر با در نظرگیری شاخص‌های مبتنی بر مرکزیت



شکل ۵. تغییرات ماکسیمم مرکزیت نزدیک با افزایش سطح بودجه و زمان سفر متناظر با آن

نزدیکی افزایش پیدا کرده و مرکزیت شبکه بهبود می‌یابد. همچنین مقدار زمان سفر تعادلی شبکه نیز با افزایش سطح بودجه و بهبود شاخص مرکزیت نزدیک بهبود پیدا می‌کند.

مقدار مرکزیت نزدیکی به دست آمده با توجه به سطح بودجه‌های مختلف در شکل (۵) مشخص شده است و همان‌طور که در شکل (۵) مشخص است با افزایش سطح بودجه مقدار مرکزیت



شکل ۶. تغییرات زمان سفر بهینه با افزایش سطح بودجه

در جدول (۱) پروژه‌های انتخاب شده برای هر یک از شاخص‌های مرکزیت و زمان سفر در ۴ سطح بودجه ۱۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نشان داده شده است.

در شکل (۶) مقدار تغییرات زمان سفر بهینه سیستم در حال تخصیص تعادلی نمایش داده شده است که مشخص است با افزایش سطح بودجه و امکان اجرای ترکیب پروژه‌های بیشتر زمان سفر سیستم بهبود چشمگیری پیدا می‌کند.

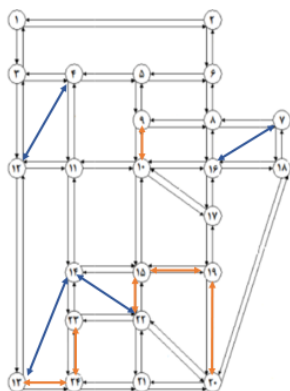
جدول ۱. ترکیب بهینه پروژه‌ها برای هریک از شاخص‌ها در سطوح بودجه مختلف

سطح بودجه	تابع هدف	شماره پروژه																			
		۳۰	۱۹	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۱۰٪	مرکزیت میانی							✓							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	مرکزیت نزدیکی		✓								✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	زمان سفر				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۳۰٪	مرکزیت میانی									✓					✓						✓
	مرکزیت نزدیکی			✓					✓		✓										✓
	زمان سفر		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۵۰٪	مرکزیت میانی		✓						✓		✓										✓
	مرکزیت نزدیکی		✓			✓			✓		✓										✓
	زمان سفر	✓	✓		✓	✓								✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۱۰۰٪	مرکزیت میانی		✓			✓			✓		✓										✓
	مرکزیت نزدیکی	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓							✓	✓			✓
	زمان سفر	✓	✓	✓	✓	✓								✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

### ۵. نتیجه‌گیری

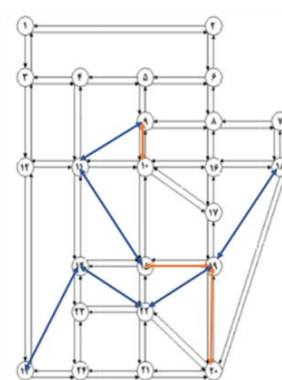
مرکزیت در کنار شاخص‌های کلاسیک مانند زمان سفر بررسی می‌کند. نکته قابل ذکر در این مقاله این است که شاخص مرکزیت میانی تنها برای حالت تخصیص همه‌یاه‌یچ معرفی شده در مرجع محاسبه نشد بلکه برای حالت تعادلی نیز مورد محاسبه قرار گرفت. به همین جهت این الگوریتم برای ۲۰ پروژه موجود شبکه سوزالز پیاده‌سازی شد و بهترین ترکیب پروژه‌ها در سطح بودجه‌های مختلف به دست آمد. نتایج نشان داد که ترکیب پروژه‌های انتخاب شده در صورت در نظرگیری شاخص مرکزیت نسبت به حالتی که شاخص زمان سفر در نظر گرفته شود، به‌طور قابل توجهی تغییر پیدا می‌کنند.

طراحی و توسعه شبکه‌های حمل و نقلی همواره یکی از چالش‌ها و مسائل مهم در حوزه برنامه‌ریزی حمل و نقل بوده است که توجه بسیاری از مهندسان و مدیران حمل و نقلی را به خود جلب کرده است. مسئله طراحی شبکه به‌طور کلاسیک با تابع هدف کل زمان شبکه تعریف شده است، در حالی که شاخص‌هایی مانند شاخص‌های توپولوژی و هندسی که می‌تواند در طراحی شبکه تأثیر بسزایی بگذارند نادیده گرفته شده‌اند. الگوریتم معرفی شده در این مقاله طراحی و توسعه شبکه را با توجه به شاخص توپولوژی



شکل ۸. ترکیب بهینه پروژه‌ها در حالت بهینه مرکزیت میانی

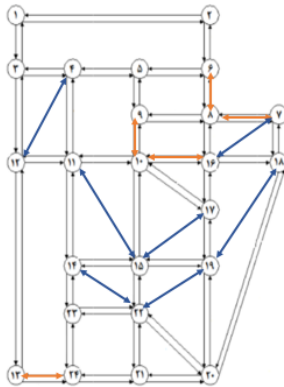
(تخصیص تعادلی) در سطح بودجه ۵۰ درصد



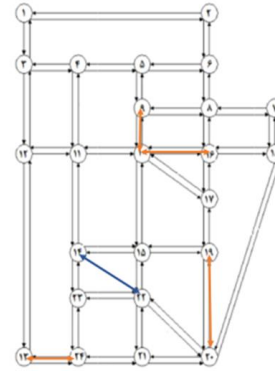
شکل ۷. ترکیب بهینه پروژه‌ها در حالت بهینه مرکزیت میانی

(تخصیص همه‌یاه‌یچ) در سطح بودجه ۵۰ درصد

مسئله طراحی شبکه معابر با در نظرگیری شاخص‌های مبتنی بر مرکزیت



شکل ۱۰. ترکیب بهینه پروژه‌ها در حالت بهینه زمان سفر شبکه در سطح بودجه ۵۰ درصد



شکل ۹. ترکیب بهینه پروژه‌ها در حالت بهینه مرکزیت نزدیکی در سطح بودجه ۵۰ درصد

acoustical society of America, U.S.A. p. 725-730.

– B.S. Cohn, M. Marriott, 1958, Networks and centres of integration in Indian civilization. Journal of social Research, 1(1): p. 1-9.

– L.C. Freeman, 1977, A set of measures of centrality based on betweenness. Sociometry, p. 35-41.

– M. Beckmann, 1952, A Lagrangian multiplier rule in linear activity analysis and some of its applications. Cowles Commission Paper in Economics, (2054).

– L.J. LeBlanc, E.K. Morlok, W.P. Pierskalla, 1975, An efficient approach to solving the road network equilibrium traffic assignment problem. Transportation research, 9(5): p. 309-318.

– M. Gholami Shahbandi, M. Nasiri, A. Babazadeh, 2015, A quantum evolutionary algorithm for the second-best congestion pricing problem in urban traffic networks. Transportation Planning and Technology, 38(8), 851-865.

۶. پی‌نوشت‌ها

1. Centrality
2. Geometric Indices
3. Topology Indicators
4. Closeness Centrality
5. Betweenness Centrality
6. User Equilibrium

۷. مراجع

– J.A. Moore, J.M. Johnson, 1994, Transportation, land use and sustainability. State of Florida Transportation Policy Initiative.

– X. Wang, et al, 2013, Investigation of road network features and safety performance. Accident Analysis & Prevention. 56: p. 22-31.

– G.F. Newell, 1980, Traffic flow on transportation networks.

– N.H. Tini, Z. Muhammad, 2018, Evaluation of road network topological pattern in Abuja Municipality. European International Journal of Science and Technology, Nigeria. 7(1): p. 53-69.

– R. Vaughan, 1987, Urban spatial traffic patterns.

– Y. Zhang, et al, 2011, Centrality characteristics of road network patterns of traffic analysis zones. Transportation research record, 2256(1): p. 16-24.

– Bavelas, 1950, Communication patterns in task-oriented groups. The journal of the

## Road Network Design Problem with Considering Centrality Indicators

Mohammad Nayeri, PhD student, Highway and Transportation Engineering, school of civil engineering, college of Engineering, university of Tehran, Iran  
Abbas Babazadeh\*, Associate Professor, school of civil engineering, college of Engineering, university of Tehran, Iran  
Mehrdad Gholami Shahbandi, PhD, Highway and Transportation Engineering, school of civil engineering, college of Engineering, university of Tehran, Iran

**E-mail: ababazadeh@ut.ac.ir**

### Abstract

Development of urban road network is one of the common options to overcome the growth of transportation demand in congested urban networks. The problem of choosing the best combination of projects according to the budget limit is called the Road Network Design Problem (RNDP). In the classical solution of this problem, the travel time index is generally considered as the objective function, while other indices, including topological indices, are also effective in the quality of network service. In this article, the impact of the topological centrality index along with the travel time index on the network design is investigated, and the network design problem is solved by considering the betweenness centrality and closeness centrality indices at different budget levels for the Sioux Falls experimental network. Also, in this article, the betweenness centrality index is evaluated in the conditions of user equilibrium. The results show that minimizing the travel time index does not necessarily improve the centrality index. Therefore, considering the centrality index is effective in answering the problem of network design.

**Keywords:** Network Design Problem, Travel Time, Topological Indicators, Betweenness Centrality, Closeness Centrality